

# Untersuchungen zum Prozessverhalten eines neuen Verfahrens zur Wasserreinigung in der Intensivfischzucht

Nicole Pausch, Anja Gerbeth, Bernhard Gemende, Michael Veit,  
Kasela Kembolo, Andreas von Bresinsky, Roland H. Müller

## 1 Einleitung

Im Haltungswasser von Fischzuchtanlagen können sich durch nicht verwertetes Futter sowie Stoffwechselprodukte der Fische verschiedene gelöste bzw. partikuläre Stör- und Schadstoffe anreichern. Vor allem in so genannten Kreislaufanlagen kann dies zu Problemen hinsichtlich Fischgesundheit und Ertrag führen bzw. einen erhöhten Wasserwechsel sowie gesteigerte Leistungen der nachgeschalteten Wasserreinigung erfordern.

Im Fischwirtschaftsbetrieb Andreas von Bresinsky, Oelzschau (FAB) wurde erstmalig ein Verfahren entwickelt und eingesetzt, dass nicht auf einer nachgeschalteten Wasserreinigung, sondern auf der Stoffwechselleistung von Mikroorganismen direkt im Fischhaltungswasser beruht [DE 103 38 147 A1, 2005].

Diese (i. d. R. speziell selektierten) aeroben heterotrophen Mikroorganismen (u. a. *Bacillus* sp. und *Pseudomonas* sp.) verwerten gelöste Schadstoffe, insbesondere das aus Kot und Futterresten primär entstehende Ammonium. Dazu ist, neben ausreichenden Sauerstoffgehalten, auch die Zugabe einer leicht verwertbaren C-Quelle (z. B. Saccharose, Essigsäure, Acetat) und weiterer Nährstoffe (vor allem Phosphat) nötig. Durch den Baustoffwechsel der Mikroorganismen kommt es allerdings – je nach Fischbesatz und -alter, Futterausnutzung sowie Wasser- und Prozessparametern – zum Wachstum und dem Anfall von Überschussbiomasse. Beim Absterben dieser Biomasse kommt es zu Lyse-Erscheinungen und in der Folge zum erneuten Freisetzen von Ammonium bzw. anderer Zellinhaltsstoffe.

Ziel einer optimalen Prozessführung muss es deshalb sein:

- die Prozessparameter (z. B. Temperatur, Sauerstoffgehalt, pH-Wert),
- die Zugabemengen (z. B. Futter, C-Quelle, Phosphat) und
- vor allem die Biomassekonzentration und -aktivität (z. B. durch geeignete, kontinuierliche bzw. intermittierende Abtrennung der überschüssigen bzw. abgestorbenen Biomasse)

dem Bedarf der Fische sowie der gewünschten bzw. erforderlichen Reinigungsleistung anzupassen.

Dazu wurde durch FAB und die Westsächsische Hochschule Zwickau (FH) (WHZ) ein von der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft gefördertes Vorhaben bearbeitet. Ziel dieses Vorhabens war die Entwicklung und Austestung eines geeigneten Verfahrens zur ökologisch und wirtschaftlich sinnvollen Reinigung des Kreislaufwassers in Fischzuchtanlagen. Ein wesentlicher Schwerpunkt war die Abtrennung und Entwässerung der Bakterien-Biomasse durch Erprobung verschiedener mechanischer, physikalischer bzw. physikalisch-chemischer Verfahren. Dabei erwies sich der Einsatz von getauchten Membranen (insbesondere als Kapillar- bzw. Hohlfaden-Module) als besonders erfolgreich; vgl. dazu [PAUSCH ET AL., 2005]; [GEMENDE ET AL., 2005]. Der so separierte aufkonzentrierte Biomasseschlamm ist sehr energie- und nährstoffreich. Deshalb wurden im Sinne der Kreislaufschließung auch Möglichkeiten zu dessen stofflicher Verwertung untersucht. Die Fermentation zur Biogaserzeugung ist dabei durchaus interessant, allerdings vermutlich nur für große Fischzuchtbetriebe wirtschaftlich; vgl. [GERBETH ET AL., 2005]. Auch andere Nutzungen der Biomasse, z. B. als Zuschlagstoff für Futtermittel, sind prinzipiell sinnvoll, aber rechtlich extrem eingeschränkt bzw. sogar unmöglich [GERBETH ET AL., 2005]; [GERBETH ET AL., 2006].

In dieser Publikation werden die Ergebnisse der Versuche zum Einfluss der Prozessparameter und zur Prozessstabilität dargestellt. Auf die Ergebnisse der o. g. Untersuchungen zur Biomasse-Abtrennung wird jedoch Bezug genommen, da die Abtrennung entscheidend für die Stabilität des untersuchten Verfahrens ist.

Prozessziele waren jeweils die Reduzierung:

- der Nitrit-Gehalte auf Werte kleiner 0,1 mg/l;
- der Ammonium-Gehalte auf Werte im Bereich von 1 bis 2 mg/l sowie damit
- ein optimaler Fischertrag bei guter Futterausnutzung.

## 2 Material und Methoden

In Abb. 1 ist das prinzipielle Schema des untersuchten neuen Verfahrens zur Wasserreinigung in der Intensivfischzucht dargestellt.

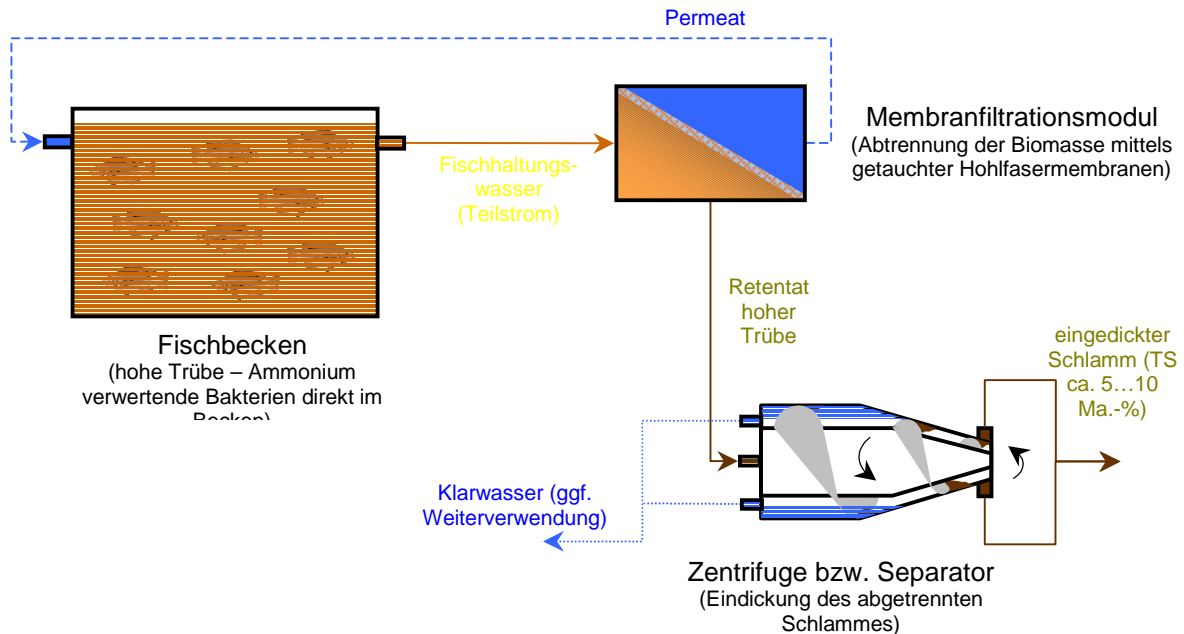


Abb. 1: Schematische Darstellung des im FAB Oelzschau eingesetzten neuen Verfahrens zur Reinigung von Kreislaufwässern der Fischintensivzucht

Alle hier diskutierten Versuche wurden in der Pilotanlage des FAB in Oelzschau durchgeführt (Abb. 2). Die Anlage wurde mit bis zu vier, i. d. R. mit mindestens drei parallel arbeitenden Behältern, jeweils mit einem Fassungsvermögen von  $1 \text{ m}^3$ , betrieben. Die Untersuchungen wurden zwischen Juni 2004 und Oktober 2005 mit Tilapien und einem Fischbesatz von anfangs ca.  $20 \text{ kg/m}^3$  bis maximal  $80 \text{ kg/m}^3$ , im Mittel ca.  $60 \text{ kg/m}^3$  durchgeführt.

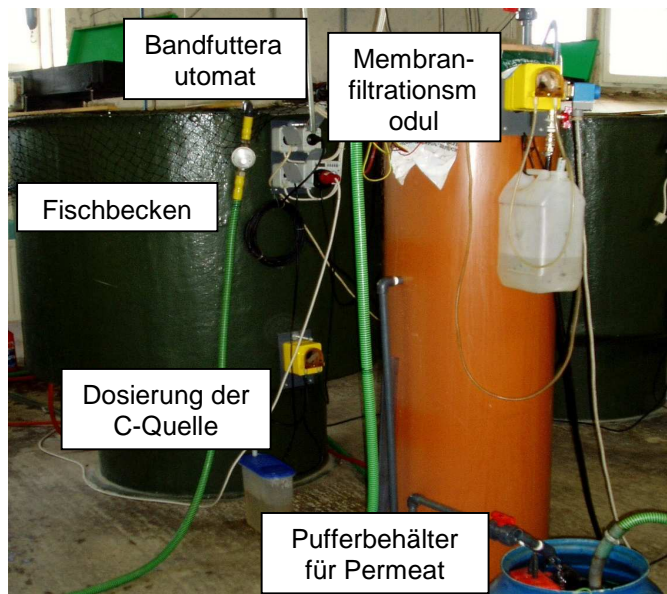


Abb. 2: Pilotanlage des FAB in Oelzschau

Die Sauerstoffanreicherung erfolgte im Nebenstrom mit reinem Sauerstoff in einem speziellen Anreicherungsmodul. Die Regelung der Sauerstoffsättigung erfolgte auf einen Sollwert von mindestens 80 % (in Ausnahmen auch nur 60 %).

Zur Entfernung des aus der Stoffwechselaktivität entstandenen Kohlendioxids wurden verschiedene Verfahren getestet. Bei den hier vorgestellten Versuchen erfolgte die Entfernung des Kohlendioxids,

indem ein Teilstrom des Beckenwassers an der Wasseroberfläche über ein Sprinkler-System versprüht wurde.

Ebenfalls im Nebenstrom erfolgte die Abtrennung der überschüssigen Biomasse in einem Membranmodul. Nach der Testung verschiedener Kapillar-Membranen kam während der Versuche durchweg ein Modul mit Hohlfasermembranen der Firma Eidos mit einer nominellen Membranfläche von

12,75 m<sup>2</sup> zum Einsatz [PAUSCH ET AL., 2005]. Die Membranen bestehen aus Polypropylen und sind Mikrofiltrationsmembranen (hergestellt durch Streckung der Hohlfaser) mit Porenabmessungen von ca.

0,2 µm mal 0,9 µm (nominell 0,1 µm mal 0,7 µm). Die Abtrennung wurde nicht ständig, sondern i. d. R. nur alle 24 Stunden für bis zu ca. 16 Stunden an jedem Becken betrieben. Im Mittel wurden dabei üblicherweise etwa 30 bis 50 l/h (maximal bis 100 l/h) Beckenwasser im Membranmodul gereinigt und als partikelfreies Permeat zurückgeführt. Alle ca. zwei Tage erfolgte eine grobe mechanische Reinigung durch Abspritzen mit klarem Wasser; etwa alle 30 Tage war zusätzlich eine chemische Reinigung (meist mit Natrium-Hypochlorit) erforderlich.

Es hat sich gezeigt, dass mit mittleren Biomasse-Gehalten von ca. 0,5 g/l im Kreislaufwasser ein stabiles Prozessverhalten zu erreichen ist. Bei durchschnittlichen Werten für Fischbesatz, Biomasse-Aktivität und -Gehalt sowie entsprechenden Dosierungen sind im Membranmodul ca. 0,15 bis 0,3 g Biomasse je Liter Permeat zu entziehen.

Die Wassertemperatur wurde auf einen Sollwert von 26 °C geregelt. Die Erwärmung erfolgte durch solarthermische Kollektoren bzw. Ölheizung. Der pH-Wert lag zwischen minimal ca. 5,5 und maximal ca. 7,0. Insbesondere bei zu niedrigem pH-Wert ergeben sich starke Hemmungen der aeroben heterotrophen Mikroorganismen, die das entstehende Ammonium direkt im Fischhaltungswasser verwerten. Eine pH-Stabilisierung erfolgte bei Unterschreiten eines Wertes von ca. pH = 5,5 bis 5,8 durch Zugabe von Kalk. Auch zu hohe pH-Werte, bis ca. 8, sind durch die Zunahme von Ammoniak aufgrund des Verteilungsgleichgewichtes mit Ammonium, hemmend und vor allem toxisch für die Fischpopulation. Derart kritische Situationen traten nicht auf und waren auch kaum zu erwarten, da der pH-Wert durch die Stoffwechselaktivität der Mikroorganismen üblicherweise sinkt.

Zur Stabilisierung dieses Stoffwechsels erfolgten entsprechende Dosierungen einer leicht verwertbaren C-Quelle (in den Versuchen durchgängig Saccharose). Zugegeben wurden ca. 0,3 bis 0,4 kg/(d·m<sup>3</sup>). Das entspricht etwa 70 bis 100 % der Futterzugabe. Weiterhin wurde bei Bedarf (d. h. Absinken des Phosphat-Gehaltes im Kreislaufwasser unter 0,1 mg/l) Phosphat, in Form von verdünnter Phosphorsäure, zusammen mit der C-Quelle dosiert. Im Mittel erfolgte eine Zugabe von ca.

2 g/(d·m<sup>3</sup>); vgl. Abschnitt 3 und [GEMENDE ET AL., 2005].

Tab. 1 gibt einen Überblick über die zur Untersuchung der Prozessparameter bzw. Einflussgrößen angewandten Messmethoden und das jeweilige Messregime.

Tab. 1: Übersicht über die untersuchten Prozessparameter und Einflussgrößen im Kreislaufwasser sowie die verwendeten Messmethoden

Parameter	Messmethode	Messregime
<u>physiko-chemische Parameter:</u>		
Temperatur	Temperaturfühler der Firma iks in Verbindung mit dem Steuersystem iks aquastar	kontinuierlich überwacht und geregelt
Sauerstoffsättigung	Sauerstoffsonden der Firma iks in Verbindung mit dem Steuersystem iks aquastar bzw. Sauerstoffelektrode CelloX 325 der Firma WTW in Verbindung mit dem Messgerät oxi330 der Firma WTW	
pH-Wert	pH-Elektrode SenTix 21 der Firma WTW in Verbindung mit dem Messgerät pH330 der Firma WTW	mindestens täglich
Leitfähigkeit	Leitfähigkeitsmessgerät pure water tester der Firma Lutron	
Redoxpotential	Redoxelektrode SenTix ORP der Firma WTW in Verbindung mit dem Messgerät pH330 der Firma WTW	
Oberflächenladungspotential	Partikelladungsdetektor PCD 03 pH der Firma Müttec	täglich
Trübung	Spekol 11 (Messung der Extinktion bei 800 nm)	mindestens täglich
<u>chemische Parameter:</u>		

Ammonium-Gehalt	Spekol 11 (Nachweismethode nach Nessler und photometrische Messung bei 436 nm)	mindestens täglich
Phosphat-Gehalt	Spekol 11 (PMB-Nachweismethode und photometrische Messung bei 710 nm)	
Nitrit-Gehalt	Spekol 11 (Azofarbstoff-Nachweismethode und photometrische Messung bei 540 nm)	
<b>weitere Parameter:</b>		
gelöstes Kohlendioxid	titrimetrische Bestimmung der Basekapazität nach DIN 38409 Teil 7	täglich
Flockungs- und Absetzverhalten der Biomasse	Trübenhöhe/Resttrübe der Klarphase gemessen in 250 ml Messzylindern (ohne und mit Zugabe des kationischen Flockungshilfsmittels Heppix O)	täglich und Auswertung des Ansatzes vom Vortag

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Abb. 3 zeigt die Tageswerte der Ammonium- und Nitrit-Gehalte für den Zeitraum von Juli bis Oktober 2005 (4 Monate). Der Verlauf ist insofern charakteristisch für die Versuche, als er zeigt, dass der Prozess über lange Zeiträume praktisch stabil läuft. Nur wenige – mitunter aber deutliche – Abweichungen von den Zielgrößen sind feststellbar. Dabei liegen ca. 80 % aller Werte für den Ammonium-Gehalt unter 2,5 mg/l. Damit treten bei den vorliegenden pH-Werten kleiner 6,5 keine toxischen Ammoniak-Gehalte auf. Auch ca. 85 % der Werte für den Nitrit-Gehalt sind niedriger als 0,1 mg/l, 50 % sogar niedriger als 0,02 mg/l.

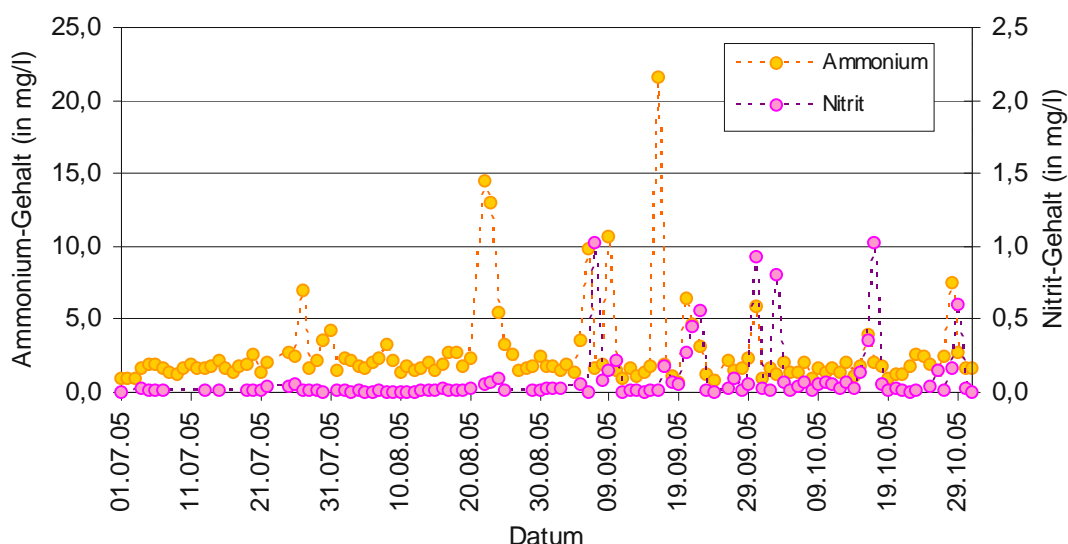


Abb. 3: Ammonium- und Nitrit-Gehalte im Kreislauf I (im Zeitraum vom 01.07.-31.10.2005; Besatz 45 bis 50 kg Tilapien)

Die gelegentlich drastischen Anstiege der Gehalte an Ammonium bzw. Nitrit korrelieren meist und sind fast ausnahmslos eine direkte bzw. mittelbare Folge der nachfolgend aufgeführten Prozess-Störungen. Bei hohem Ammonium-Gehalt und moderater Sauerstoffsättigung bzw. Limitierungen durch Mangel an leicht verwertbarer C-Quelle wird die direkte Ammonium-Verwertung gehemmt. Stattdessen kommt es zur – allerdings begrenzten – Nitrifizierung.

So wurden insbesondere die extrem erhöhten Ammonium-Gehalte (größer als das 10- bis 40-Fache der Durchschnittswerte) während des Langzeitversuchsprogramms durch einen Mangel an C-Quelle verursacht. Allerdings können diese Spitzenwerte durch nachfolgende Dosierung bzw. ggf. auch geringfügige Überdosierung der C-Quelle relativ schnell wieder abgebaut werden. Abb. 4 zeigt, dass der Ammonium-Gehalt nach Ausfall der Saccharose-Dosierung in kurzer Zeit stark bis auf kritische Werte ansteigt. Nach Beheben der Störung und entsprechender Dosierung von Saccharose stabilisieren sich die Ammoniumwerte (in wenigen Stunden) wieder. Die Abnahme der Ammonium-Gehalte erfolgt mit anfänglichen Raten von mehr als 1,3 (mg/l)/h, so dass nach ca. zwei Tagen wieder die Durchschnittswerte erreicht werden.

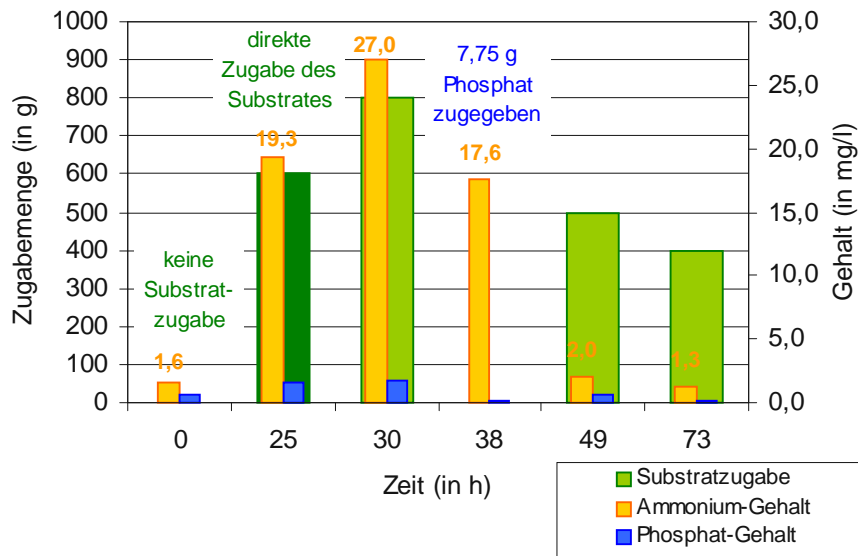


Abb. 4: Substratmangel (Kreislauf I während des Biomasseabtrennung 24.-27.11. 2004; Besatz ca. 45 kg Tilapien)

Ähnlich, aber weniger drastisch, wirken sich sehr niedrige Phosphat-Gehalte aus, da Phosphat für Wachstum und Reproduktion benötigt wird. Ebenfalls in Abb. 4 ist eine derartige Mangelsituation dokumentiert. Man erkennt, dass die Ammoniumwerte nach der Phosphat-Dosierung relativ schnell (schon nach ca. 11 Stunden) wieder Durchschnittswerte erreichen. In diesem Fall wird das vermutlich durch die erhöhte Aktivität und den beschleunigten Biomasse-Zuwachs nach Dosierung der C-Quelle beeinflusst. Nicht in jedem Fall geschah die Stabilisierung des Prozessverhaltens (in diesem Fall der Gehalte an Ammonium, aber auch Phosphat) so schnell [GEMENDE ET AL., 2005]. Ggf. spielen hier Adaptions- bzw. Akkumulations- und Aufnahmeprozesse der bzw. durch die Mikroorganismen eine Rolle.

Wesentlich drastischer wirken sich Störungen

- der Sauerstoffversorgung bereits nach wenigen Minuten insbesondere aber reduzierte Sauerstoffgehalte mit Sättigungen von 60 % und kleiner über längere Zeiträume, sowie
- der Biomasse-Abtrennung (und damit eine Zunahme der Biomasse-Gehalte, die die Entstehung von Lyse-Produkten bzw. einen insgesamt erhöhten Sauerstoffbedarf zur Folge hat) aus.

Auf diese Abhängigkeiten wird an anderer Stelle ([PAUSCH ET AL., 2005]; [GEMENDE ET AL., 2005]) näher eingegangen.

#### 4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die exemplarisch vorgestellten Pilot-Versuche im FAB Oelzschau mit Tilapien (Besatz ca. 40 bis 60 kg/m<sup>3</sup>) über ca. 18 Monate zeigen die prinzipielle Eignung des untersuchten neuen Reinigungsverfahrens für Kreislaufwasser in Fischzuchtanlagen. Dabei wird die Fähigkeit von speziellen aeroben heterotrophen Mikroorganismen (u. a. *Bacillus* sp. und *Pseudomonas* sp.) genutzt, Ammonium direkt zu verwerten. Der Prozess ist über lange Perioden praktisch stabil. Die Zielgrößen des Prozesses hinsichtlich Gehalten an Ammonium (ca. 1 bis 2 mg/l) bzw. Nitrit (< 0,1 mg/l) wurden zu nahezu 80 % bzw. 85 % erreicht.

Allerdings sind dabei insbesondere die kritischen Einflussparameter:

- Sauerstoff-Gehalt, auf mindestens ca. 60 % bzw. besser auf 80 % Sättigung, und
- C-Quellen-Zugabe, z. B. mit 0,3 bis 0,4 kg/(d·m<sup>3</sup>) Saccharose, entsprechend einzustellen sowie
- die überschüssige Biomasse geeignet abzutrennen, z. B. durch Mikrofiltration mit Kapillarmembranen.

Die abgetrennte Biomasse kann als Substrat zur Biogasgewinnung genutzt werden.

Weniger kritisch, aber dennoch ebenfalls wichtig für die Prozessstabilität, ist die Dosierung von Phosphat, im Mittel etwa 2 g/(d·m<sup>3</sup>), z. B. durch verdünnte Phosphorsäure.

Die Wirtschaftlichkeit und die Konkurrenzfähigkeit des Gesamtverfahrens muss allerdings noch demonstriert werden.

Zudem sind weitere technische Untersuchungen sowie Optimierungen – angebracht hinsichtlich:

- der Verbesserung des Kohlendioxid-Austrags und des Sauerstoff-Eintrags,

- der Optimierung der Prozesssteuerung sowie der Online-Messtechnik,
- der Testung einfacher messbarer Leitgrößen und Indikatoren (u. a. Redoxpotential) bzgl. ihrer Aussagefähigkeit hinsichtlich der Veränderung des Prozesszustandes und ihrer Eignung zur Prozesssteuerung,
- der Optimierung der Membrantrennung (z. B. hinsichtlich Größe, Kapazität, Reinigungszyklen, Einbindungsvarianten),
- der Alternativen bzw. der Kopplung von Verfahren für die Abtrennung,
- der Integration der Biomasse-Verwertung in den Gesamtprozess und ggf. die direkte Nutzung der dabei erzeugten Energie und
- der Erstellung von N- und P-Bilanzen zur besseren Auslegung des Prozesses.

## 5 Danksagung

Die beschriebenen Arbeiten und Ergebnisse sind Bestandteil des durch die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft geförderten Projektes „Abtrennung, Entwässerung und Aufkonzentrierung von Bakterien-Biomasse aus Kreislaufwasser von Fischzuchtanlagen“ (Förderkennzeichen 1-67-000-0101-14-2004-59-1). Unser besonderer Dank gilt der Projektbegleiterin Frau Ulrike Bobach für ihre Diskussionsbereitschaft. Für die Unterstützung bei den experimentellen und messtechnischen Arbeiten möchten wir den beteiligten Mitarbeiterinnen der WHZ, Frau Helga Stemmler und Frau Kristina Maurer, sowie der Diplomandin, Frau Nicole Rauh danken.

## 6 Literatur

OFFENLEGUNGSSCHRIFT DE 103 38 147 A 1: Verfahren zur biologischen Wasserreinigung, insbesondere in Anlagen zur Fischzucht bzw. -haltung. Offenlegungstag: 31.03.2005.

GEMENDE, B.; PAUSCH, N.: Schlussbericht zum Förderprojekt „Abtrennung, Entwässerung und Aufkonzentrierung von Bakterien-Biomasse aus Kreislaufwasser von Fischzuchtanlagen“, Westsächsische Hochschule Zwickau (FH), 2005.

GERBETH, A.; GEMENDE, B.; PAUSCH, N.; KRAUTHEIM, G.; BELLMANN, G.; VON BRESINSKY, A.: Versuche zur Biogasgewinnung und Verwertung von Biomassen aus einer Fischzuchtanlage. Vortrag EU Sokrates Intensiv-Programm „Distributed Power Generation Systems“, Pernink, 24.-26.05.2005.

GERBETH, A.; GEMENDE, B.; PAUSCH, N.; KRAUTHEIM, G.; VON BRESINSKY, A.; LANGE, R.; ADAMSKA, M. A.: Vergleichende Untersuchungen zur Trocknung von Bakterienbiomasse. Vortrag EU Sokrates Intensiv-Programm „Distributed Power Systems“, Pernink, 22.-26.05.2006.

PAUSCH, N.; GEMENDE, B.; GERBETH, A.; BURKHARDT, C.; WESENBERG, T.; BELLMANN, G.; VON BRESINSKY, A.: Abtrennung von Bioschlamm aus der Fischzucht mittels Lamellenklärer und Membrantechnik zur Biogasverwertung. Vortrag EU Sokrates Intensiv-Programm „Distributed Power Generation Systems“, Pernink, 23.-27.5.2005.

## 7 Adressen der Autoren

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Gemende, Dipl.-Ing. (FH) Nicole Pausch, Dipl.-Ing. (FH) Anja Gerbeth, Prof. Dr. rer. nat. Michael Veit, Dipl.-Wirtschaftsing. Kasela Kembolo  
Westsächsische Hochschule Zwickau (FH), Fachbereich Physikalische Technik/Informatik  
Postfach 201037, D-08012 Zwickau  
Telefon: +49-375/536-1787 (1501); Fax: 1503; E-Mail: [bernhard.gemende@fh-zwickau.de](mailto:bernhard.gemende@fh-zwickau.de)

Andreas von Bresinsky  
Fischwirtschaftsbetrieb Andreas von Bresinsky  
Thomas-Müntzer-Str. 6, D-04579 Oelzschau  
Telefon: +49-34347/81679, Fax: 81701; E-Mail: [a.v.bresinsky@arcor.de](mailto:a.v.bresinsky@arcor.de)

Dr. Roland H. Müller  
Ufz Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Permoserstr. 15, D-04318 Leipzig  
Telefon: +49-341/235-2248, Fax: 2247, E-Mail: [r.mueller@ufz.de](mailto:r.mueller@ufz.de)